植物分类学报
第21卷 第2期 ACTA PHYTOTAXONOMICA SINICA 1983年5月

中国散生竹类的数量分类和确定分类等级的探讨

陈守良* 徐克学** 盛国英*

一、前 言

我国竹类约40余属300余种，自然分布多在长江流域及其以南各省区。其中丛生竹群主要分布在华南及西南地区，散生竹大都分布在长江流域，波及中南、西南、华北及西北地区，分布范围较丛生竹为广。其形态特征表现得错综复杂，属间界限连续不断，难以划分。本文试用数学分类的手段进行定量分析，划分我国散生竹的类群，为探求较合理地解决散生竹群在分类上的问题，提供科学依据。

二、材料与方法

以散生竹的21个种为分类单位（Operational taxonomic unit，简写成“OTU”），取用

表1 21种散生竹名称表

编号	中 名	学 名
1	业平竹	*Semiarundinaria fastuosa* (Mitf.) Makino
2	酸竹	*Acidosasa chinensis* C. D. Chu & C. S. Chao
3	短穗竹	*Brachystachyum densiflorum* (Rendle) Keng
4	阔叶箬竹	*Indocalamus latifolius* (Keng) McClure
5	御江箬竹	*I. migoi* (Nakai) Keng f.
6	唐竹	*Sinobambusa tootsik* (Sieb.) Makino
7	毛竹	*Phyllostachys pubescens* Mazel ex H. de Lehaie
8	早园竹	*Ph. propinque* McClure
9	早竹	*Ph. praecox* C. D. Chu & C. S. Chao
10	红壳竹	*Ph. iridescens* C. Y. Yao & S. Y. Chen
11	杭州苦竹	*Pleioblastus amarus* var. *hangzhouensis* S. L. Chen & S. Y. Chen
12	巨县苦竹	*Pl. juxianensis* T. H. Wen & al.
13	笔竹	*Pseudosasa japonica* var. *pleioblastoides* Muroi
14	茶秆竹	*Ps. amabilis* (McClure) Keng f.
15	矢竹	*Ps. japonica* (Sieb. & Zucc.) Makino
16	华箬竹	*Sasamorpha sinica* (Keng) Koidz.
17	赤竹	*Sasa longiligulata* McClure
18	大节竹	*Indosasa crassiflora* McClure
19	方竹	*Chimonobambusa quadrangularis* (Fenzi) Makino
20	倭竹	*Shibataea chinensis* Nakai
21	青篱竹	*Arundinaria gigantea* (Walter) Muhlenb.

* 江苏省植物研究所。
** 山西省晋东南地区药品检验所。

53 个特征（Characters）进行数量分类。种的学名和编号见表 1。这些种分属于 13 个属，属的范围，包括了中国散生竹已发表的属。虽然属下的种尚不完全，特别是刚竹属种类较多，但是所选取的种基本上可以作为该属的代表种或为属的模式种。53 个特性来自地下茎 1 个，秆枝 15 个，箨 14 个，叶 9 个，花与花序 13 个和地理分布 1 个。特性的观察和记录根据江苏省植物研究所及南京大学等单位收藏的标本和本所植物园及杭州植物园栽培竹类的实地观察，也有部分性状来自文献的记载[1-12]。

特性的编码分为三种情形(详见表 2)：二元特性 16 个，有序多态特性 12 个，连续数值特性 25 个。个别缺失的数据按无法比较（No comparison）处理。

表 2 21 种散生竹分类特性表

特 性	编码类型	特 性	编码类型
地下茎情况	二	箨片贴秆情况	多
秆下刺根有或无	二	箨片质地	多
秆环高	数	小枝叶数	数
箨环高	数	叶片质地	多
秆粗	数	叶片长	数
一级分枝粗/秆粗	数	叶片宽	数
节间长	数	叶片侧脉数	数
节内长	数	叶片小横脉清晰否	二
节间具毛多少	多	叶耳长	数
秆环具毛多少	多	叶耳宽	数
髓部	多	叶耳繸毛长	数
秆形圆或方	二	花序是否一次发生	二
秆一级分枝数	多	雄蕊数	数
秆沟槽情况	多	柱头数	数
秆二级分枝数	多	花柱数	数
分枝与秆的夹角	数	花柱长度	数
箨鞘均匀否	二	颖果的胚处是否明显呈胚盖状	二
箨鞘基部毛多少	多	小枝第 2 节有无叶片	二
箨鞘脱落难易程度	多	有无小穗柄	二
箨鞘长/秆节间长	数	花序轴有无节	二
箨耳长	数	外稃有无托叶状附属物	二
箨耳宽	数	花序轴是否连续	二
箨耳脱落难易程度	多	下方颖有无潜伏性芽	二
箨舌高	数	有无原叶	二
箨片长	数	小穗下有无苞片	二
箨片宽	数	地理分布	二
箨片宽/箨鞘顶宽	数		

“二”表示二元特性，“多”表示有序多态特性，“数”表示连续数值特性。

数学运算步骤如下[13]:

先对原始数据施行标准化变换

$$x_{ij}=\frac{y_{ij}-\bar{y}_j}{s_j}\quad(i=1,2,\cdots,t;\ j=1,2,\cdots,n),$$

式中 y_{ij} 表示原始数值矩阵中第 i 个分类单位（共 $t=21$ 个分类单位）第 j 个特性(共

$n=53$ 个特性）的数值；标准化变换以后相应的数值记作 x_{ij}；$\bar{y}_i$ 和 s_i 分别表示第 i 个特性的平均值和标准差。

从已经标准化的数据再计算分类单位之间的相似性系数（Similarity coefficients）。相似性系数采用相关系数（Correlation coefficients），它的计算公式如下：

$$r_{ij}=\frac{\sum_{k=1}^{n}(x_{ik}-\bar{x}_i)(x_{jk}-\bar{x}_j)}{\left[\sum_{k=1}^{n}(x_{ik}-\bar{x}_i)^2\cdot\sum_{k=1}^{n}(x_{jk}-\bar{x}_j)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$(i,j=1,2,\cdots,t),$$

式中 r_{ij} 表示分类单位 i 和 j 之间的相关系数；$\bar{x}_i=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}x_{ik}$；其它符号与前面相同。将每一对分类单位的相关系数都计算出来以后得相关矩阵。

聚类运算采用聚合的逐类（每次循环只形成一个结合的新类群）配对（结合的类群仅由二个类群合并而成）法。类群结合以后相似性系数的计算采用最小、最大、平均、加权平均和 Spearman 公式等方法，相应于这些计算方法得到的聚类运算分别称为全联、单联、WPGMA，UPGMA 和 Spearman 法等。这里的聚类运算方法除 Spearman 方法以外，都可以看作距离系数相应方法在形式上的推广，运算中只需注意到相关系数变化的意义与距离系数相反。它们的计算表达式如下：

最小　　$r_{ik}=\min\{r_{ip},r_{iq}\}$,

最大　　$r_{ik}=\max\{r_{ip},r_{iq}\}$,

平均　　$r_{ik}=\frac{1}{2}(r_{ip}+r_{iq})$,

加权平均　　$r_{ik}=\frac{n_p}{n_k}r_{ip}+\frac{n_q}{n_k}r_{iq}$,

Spearman 公式　　$r_{ik}=\frac{r_{ip}+r_{iq}}{\sqrt{2+2r_{pq}}}$,

这些公式中，下角标都表示类群或分类单位的编号，p 和 q 是被结合的二个类群，k 是结合后的新类群，i 是任一类群，n_p、n_q 和 n_k 分别表示类群 p、q 和 k 中分类单位个数。

按照上面的公式聚类运算得到五个不同的分类结果。再利用综合比较系数，从数学上评价它们的优劣。算出综合系数的值分别是 0.3909（全联法）、0.2374（单联法）、0.1710（WPGMA 法）、0.1426（UPGMA 法）和 0.2385（Spearman 法），以 UPGMA 法最好。

最后作出 UPGMA 法分类结果的树系图（见图 1）。

散生竹 21 个种的分类关系一经确立，在种的基础上如何确定属一级的位置，这是数量分类学中分类等级划分界线问题。在此，我们就散生竹的例子提出一个简便的确定方法。

根据分类结果以类群结合的水平为纵坐标，类群的结合次数为横坐标，将全部聚合过程描点，并按图 2 的形式依次连接而成一条阶梯式的折线。该折线由结合水平和结合次数构成，不妨称为结合线。从结合线可以看出类群的结合在纵轴上的分布是不均匀的，第

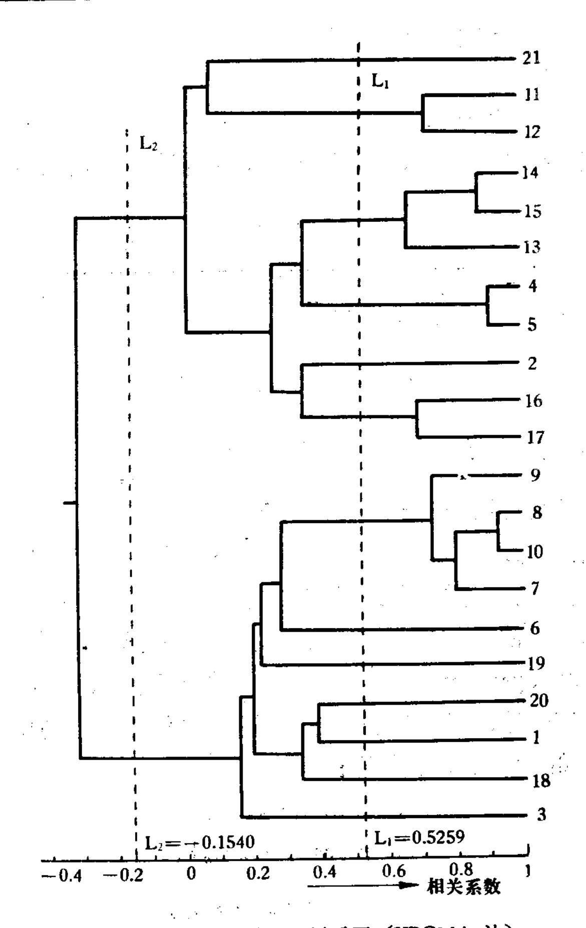


图1 散生竹分类结果的树系图（UPGMA 法）

9 和 20 次，结合水平各有一次飞跃式的下降，下降的上下值分别是 0.6703—0.3815 和 0.0108——0.3187。很明显，类群的结合被这种不均匀性分为不同的等级。在 0.6703 以上许多类群迅速结合，然后跳到从 0.3815 到 0.0108 的范围又有许多类群相结合，最后下降到 −0.3187 的水平结合为一。

结合水平的等级性很自然地显示出系统分类的等级性。等级分界值应该取在结合水平的飞跃位置，取飞跃位置的中点，计算如下：

第一次 $l_1=\frac{1}{2}(0.6703+0.3815)=0.5259$，

第二次 $l_2=\frac{1}{2}(0.0108-0.3187)=-0.1540$.

将等级的分界值 l_1 和 l_2 标在树系图中，作出类群等级划分线 L_1 和 L_2。于是在树系图中清楚地看到，当结合水平大于 $l_1=0.5259$ 时，类群的归并最终产生第一级类群；当结合水平大于 $l_2=-0.1540$ 时，类群的归并最终产生第 2 级类群。

推广到一般情形，如果结合线出现多次飞跃，相应于第 k 次飞跃的分界值

$$l_k=\frac{1}{2}(r_i+r_j),$$

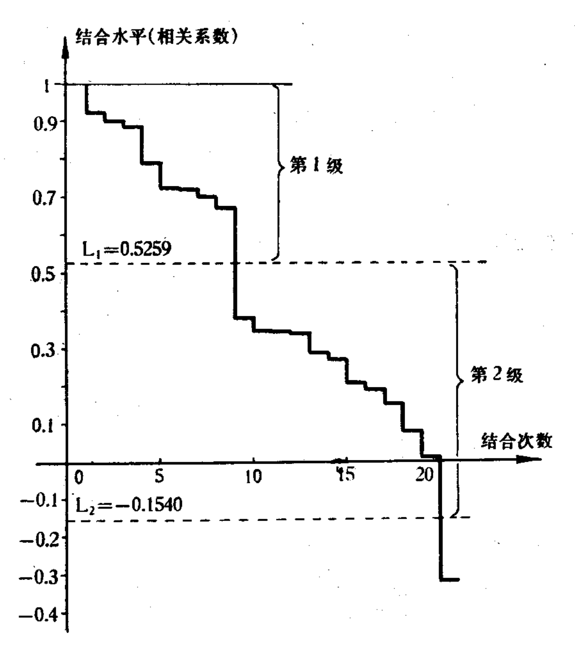


图 2　散生竹分类结果的结合线

其中 r_i 和 r_j 表示第 k 次飞跃两个上下结合水平。当结合水平大于 l_k 时，类群的归并最终产生第 k 级类群。

我们用的分类单位是种，参考经典分类的研究结果，第 1 级类群就是属，第 2 级类群就是亚族及族。分析的结果不仅与经典分类基本上一致，而且有助于解决当前散生竹分类上的一些争论问题．同时对过去的分类系统也作了些较合理的修正。

上面关于分类等级的确定是对单调的分类结果进行讨论，如果将个别破坏单调性的结合除去，也能推广到非单调的分类结果。对距离系数的分类也能适合，这时只需注意到距离系数值的意义与相关系数相反。

全部数值运算以 ALGOL 语言编写程序，在国产 TQ-16 型电子计算机上进行运算。

三、讨　　论

根据数学定量分析的结果，从图 2（散生竹分类结果的结合线）反应到图 1（树系图）上为我们明确了下面几个问题：

1. 华箬竹属 *Sasamorpha* Nakai 与赤竹属 *Sasa* Makino & Shibata 的分合问题。 中外分类学者对这个问题的看法不一致，有的主张分，有的主张合。现在从树系图上可以看到华箬竹 *Sasamorpha sinica* (Keng) Koidz. 与赤竹 *Sasa longiligulata* McClure 的结合水平是 0.7038，显著高于第一级属的分界值 $l_1 = 0.5259$。因此就我国的种类来看，我们有比较充分的理由赞成华箬竹属应并入赤竹属，不要分成两个属。

2. 茶秆竹 *Pseudosasa amabilis* (McClure) Keng f. 的去向问题：中外竹类分类学者有主张茶秆竹归入青篱竹属 *Arundinaria* Michaux 的，有主张归入茶秆竹属 *Pseudosasa* Makino 的。现在根据数量分类的结果，茶秆竹与茶秆竹属的模式种矢竹 *Pseudosasa japonica* (Sieb.

& Zucc.) Makino 的结合水平是 0.8847，还大于矢竹与其变种笔竹 *Ps. japonica* var. *pleiobastus* Muroi 的结合水平 0.6703，因此，茶秆竹与矢竹应同在一个属内，而不应将茶秆竹归入青篱竹属内。因其与青篱竹属的模式种青篱竹 *Arundinaria gigantea* (Walter) Muble-nb. 的结合水平几乎等于零，远低于第一级属的分界值 $l_1 = 0.5259$。

3. 短穗竹 *Brachystachyum densiflorum* (Rendle) Keng 的问题。中外竹类分类学者，有的主张短穗竹独立成为短穗竹属 *Brachystachyum* Keng，也有的主张归并入业平竹属 *Semiarundinaria* Nakai 内。现在我们从树系图上看它们的结合水平是 0.1533，远低于第一级属的分界值 $l_1 = 0.5259$。因此，这两个属应该分开，树系图上明显地表现出短穗竹属应独立存在。

4. 青篱竹属 *Arundinaria* Michaux 与苦竹属 *Pleioblastus* Nakai 的分合问题。这个问题当前国内外竹类分类学者也有不同的看法，即使一个人也会有时主张分，有时主张合，如林维治即是其中的一个，现在从树系图上可以看到这两个属的结合水平是 0.0786 远低于第一级属的分界值 $l_1 = 0.5259$，因此这两属应各自单独成立。

树系图上反应出中国散生竹属的亲缘关系，除较合理地解决上面四个问题外，也更合理地对《中国主要植物图说(禾本科)》作了些修正，如短穗竹属 *Brachystachyum* Keng 应从苦竹亚族 *Pleioblastinae* Keng & Keng f. 中提出归入倭竹族 *Shibataeeae* Nakai，茶秆竹属 *Pseudosasa* Makino 也应从苦竹亚族中提出而归到赤竹亚族 *Sasinae* Keng f. 中。就我国已正式发表的散生竹属从树系图上所显示出的亲缘关系可分成两族：青篱竹族 *Arundinarieae* Steud. (散生竹群中的真花序类群)与倭竹族 *Shibataeeae* Nakai (散生竹群的假花序类群)。在青篱竹族中又分成两个亚族：苦竹亚族 *Pleioblastinae* Keng & Keng f. (按 1978 年版国际命名法规应用青篱竹亚族 *Arundinariinae*) 与赤竹亚族 *Sasinae* Keng f.。在苦竹亚族中有青篱竹属 *Arundinaria* Michaux (*A. gigantea*) 与苦竹属 *Pleioblastus* Nakai (*P. hangzhouensis*, *P. juxianensis*) 等。在赤竹亚族中有赤竹属 *Sasa* Makino & Shibata (*S. longiligulata*, *S. sinica*)，酸竹属 *Acidosasa* C. D. Chu & C. S. Chao (*A. chinensis*)，箬竹属 *Indocalamus* Nakai (*I. latifolius*, *I. migoi*) 与茶秆竹属 *Pseudosasa* Makino (*Ps. japonica*, *Ps. japonica* var. *pleioblastoides*, *Ps. amabilis*)。在倭竹族中则有倭竹属 *Shibataea* Makino (*S. chinensis*)，刚竹属 *Phyllostachys* Sieb. & Zucc. (*Ph. pubescens*, *Ph. propinque*, *Ph. praecox*, *Ph. iridescens*)，大节竹属 *Indosasa* McClure (*In. crassiflora*)，方竹属 *Chimonobambusa* Makino (*C. quadrangularis*)，短穗竹属 *Brachystachyum* Keng (*B. densiflorum*)，业平竹属 *Semiarundinaria* Makino (*S. fastuosa*) 及唐竹属 *Sinobambusa* Makino (*S. tootsik*)。

最后，关于分类等级的确定，我们借助于结合线的分析，在散生竹的分类中获得较满意的结果，特别表现在青篱竹族的类群，但是有些数量分类的结果，结合线中的飞跃阶段不十分明显，或者分类等级与传统分类的结果差异很大，遇到这种情形需要我们做进一步的分析。一方面，在使用数学方法的同时也要结合生物分类的实际意义来确定各级分类等级；另一方面，要检查原始特性选择得是否合理，反映各级类群差异的性状是否适当地被取用。在这次散生竹的分类中，由于将反映各属之间真假花序差异的各种性状充分取用，因此族与属两个等级的区别十分明显，否则可能达不到这个效果，甚至还会出现分类

结合上的混乱。如果特性的选取十分完善，分类的等级仍然与传统结果很不一致，那就要怀疑传统的经验是否正确。传统分类中对分类等级的确定往往带有很大的主观性。特别表现在种以上的等级，诸如属、族、科以及目等各种五花八门的中间等级。

目前，用定量分析的方法去大量地研究植物分类仅仅是开始，对分类等级的确定，还有待更广泛地收集各方面的性状，再使用定量方法进行全面的综合分析，才能对经典分类中确立的分类等级重新给与正确的认识。数量分类学中有关确定分类等级方面的研究，目前也比较少，应生物分类实践的需要，有待我们在数学方法上做进一步的探索。

参 考 文 献

[1] 王正平等，1980：中国刚竹属的研究，«植物分类学报» **18**(1)：15—19。
[2] 王正平等，1980：中国刚竹属的研究(续)«植物分类学报» **18**(2)：168—193。
[3] 朱政德、赵奇僧，1979：中国竹亚科一新属——酸竹属，«南京林产工业学院学报» **79**(1—2)：142—144。
[4] 陈守良，1962：华东禾本科植物志：21—54。
[5] 耿以礼等，1959：中国主要植物图说(禾本科)：2—III。
[6] 林维治，1974：竹花形态之研究：4—55。
[7] 铃木贞雄，1975：A revision of the genus Sasamorpha Nakai (Bambusaceae), *Journ. Jap. Bot.* **50**: 129—142.
[8] 铃木贞雄，1978：日本タケ科植物总目录：25—233，270—333。
[9] McClure, F. A., 1973: Genera of bamboos native to the New World (Gramineae: Bambusoideae), *Smithsonian Contributions to Botany* **9**: 21—38. (by T. R. Soderstron).
[10] Munro, C., 1866: A monograph of the Bambusaceae. 13—55.
[11] Nakai, T., 1925: Two new genera of Bambusaceae with special remarkes on the related genera Growing in Eastern Asia, *Journ. Arn. Arb.* Vol. **5**: 145—153.
[12] Nakai, T., 1933: Bambusaceae in Japan Proper III. *Journ. Jap. Bot.* **9**: 150—168.
[13] Sneath, P. H. A. & R. R. Sokal, 1973: Numerical taxonomy. 201—240.

ON THE NUMERICAL CLASSIFICATION AND DETERMINATION OF TAXA OF CHINESE BAMBOOS WITH LEPTOMORPH RHIZOMES

Chen Shou-liang* Xu Ke-xue** Sheng Guo-ying*

Abstract

In this paper, 21 species representing 13 genera were studied by means of numerical taxonomic methodes. One geographical and 52 morphological characters were used. The correlation coefficients were computed by standardized data, and the various clustering methods were performed on the correlation matr x. The UPGMA clustering method was selected as the optimal one and its results were shown in the form of dendrograms.

We present a simple method to construct the joint and broken lines by which the boundary of the genera, subtribes and tribes in the dendrogram is determined.

By means of numerical taxonomic methods, we can easily work out a systematic dendrogram and the following taxonomic treatments are easily proposed:

(1) *Sasamorpha sinica* (Keng) Koidz. should be reffered to the genus *Sasa* Makino & Shibata.

(2) *Pseudosasa amabilis* (McClure) Keng f. should belong to the genus *Pseudosasa* Makino and should not be referred to the genus *Arundinaria* Michaux.

(3) The genus *Brachystachyum* Keng should be considered as a separate one.

(4) The genus *Pleioblastus* Nakai should not be combined with the genus *Arundinaria* Michaux, but kept as an independent one.

* Jiangsu Institute of Botany.

** Labora ory for the Sontrol of Drugs in Jindongnan Prefecture, Shanx Province.